

## 伊犁河谷喀什河流域降水变化特征分析

吴丽萍, 杨余辉\*, 杨景燕, 冯先成, 曾康康 (新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆乌鲁木齐 830054)

**摘要** 利用喀什河流域 1965—2018 年逐日降水量实测资料, 采用线性趋势分析、Mann-Kendall 趋势检验、突变检验、Morlet 小波分析方法对近 54 年新疆喀什河流域气候变化背景下的降水特征进行研究。结果表明, 近 54 年喀什河流域年降水量总体呈 24.14 mm/10 a 的增加趋势, 降水量在 20 世纪 90 年代增加最显著; 喀什河流域降水量在冬季上升显著, 夏季和秋季增加趋势较缓慢; 喀什河流域降水量在冬季 1 月和 2 月增加明显。喀什河流域年降水量突变时间为 1986、1988、1990 年, 春季降水量突变年份为 1993、1994、1995、1997 年, 冬季降水量突变年份为 1993 年。喀什河流域年降水量主要存在 15、6 年 2 种周期性变化, 其中 15 年为第一主周期, 6 年为第二主周期。由此可见, 喀什河流域降水量呈显著增加趋势, 冬季降水量对年际降水量增加贡献最大, 1、2 月份降水量对冬季降水量增加贡献最大。

**关键词** 伊犁河谷喀什河流域; 降水量; 变化特征; Mann-Kendall 检验; 小波分析

中图分类号 P 426.6 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)10-0190-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.10.043



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Analysis of Precipitation Variation Characteristics in Kashi River Basin in Ili Valley

WU Li-ping, YANG Yu-hui, YANG Jing-yan et al (College of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054)

**Abstract** Using the measured daily precipitation data in the Kashi River Basin from 1965 to 2018, the linear trend analysis, Mann-Kendall trend test, mutation test and Morlet wavelet analysis methods were used to study the precipitation characteristics of the Kashi River Basin in Xinjiang under the background of climate change in the past 54 years. The results showed that in the past 54 years, the annual precipitation in the Kashi River Basin showed an overall increasing trend of 24.14 mm/10 a, and the precipitation increased most significantly in the 1990s. The precipitation in the Kashi River Basin increased significantly in winter, and the increase trend was slower in summer and autumn. The precipitation in the Kashi River Basin increased significantly in January and February in winter. The sudden change of annual precipitation in the Kashi River Basin was 1986, 1988 and 1990, the sudden change of spring rainfall was 1993, 1994, 1995 and 1997, and the sudden change of winter rainfall was 1993. The annual precipitation in the Kashi River Basin mainly had two cyclical changes of 15 and 6 years, of which 15 years was the first main cycle and 6 years was the second main cycle. It can be seen that the precipitation in Kashi River Basin shows a significant increase trend, and the precipitation in winter has the largest contribution to the increase in inter-annual precipitation, and the precipitation in January and February has a greater contribution to the increase in winter precipitation.

**Key words** Kashi River Basin in Ili Valley; Precipitation; Variation characteristics; Mann-Kendall test; Wavelet analysis

降水作为气候变化的基础因素, 其变化对区域环境、水资源具有重要的影响作用<sup>[1]</sup>。王艳姣等<sup>[2]</sup>研究表明我国不同区域降水变化复杂, 而且有显著差异。刘洪兰等<sup>[3]</sup>研究得出 1961—2011 年西北地区春季降水量空间分布极不均匀。陈发虎等<sup>[4]</sup>研究指出 1930—2009 年中亚干旱区在年降水量和季降水量都表现出微弱增加趋势, 在短尺度上也存在气候变化的“西风模式”。已有部分学者对新疆降水特征进行了研究<sup>[5-7]</sup>。新疆作为亚欧大陆的典型干旱区, 水资源是新疆生态环境系统的核心, 其水资源补给类型主要是冰雪融水补给<sup>[8]</sup>。姚俊强等<sup>[9]</sup>研究表明 1961—2011 年西北干旱区降水增加明显。韩雪云等<sup>[10]</sup>研究表明近 51 年来新疆天山山区降水量呈上升趋势, 年降水量变化表现出一致增强的趋势。刘濛濛等<sup>[11]</sup>研究表明近 58 年巴音布鲁克气候由暖干向暖湿转型, 未来降水将持续增加。杨昕馨<sup>[12]</sup>分析表明 1960—2013 年新疆伊犁河流域全年和四季降水量的时空分布总体存在一致性。

新疆气候变化与中亚地区和我国西北地区基本一致, 但新疆面积广阔, 自然环境具有独特性和复杂性等特点, 在其

气候变化方面也表现出明显的地域特点<sup>[13]</sup>。在全球气候研究背景下, 对小流域气候变化关注较少。基于此, 笔者选择喀什河流域尼勒克气象站 1965—2018 年的逐日降水资料, 分析其变化规律, 以期为今后该流域优化水资源配置、生态环境建设以及防灾抗旱等提供科学依据。

## 1 资料与方法

**1.1 研究区概况** 喀什河流域位于新疆伊犁河谷境内, 地处北疆西部、北天山南坡、伊犁地区东北部, 地理位置为 81°55'~84°58'E、43°25'~44°17'N。流域西连伊宁县, 西北与精河县为邻, 东北与乌苏县接壤, 东与和静县相连, 东南与新疆源县交界。由东向西延伸, 呈长条形, 似柳叶状。地势东北高, 西南低, 中间夹河谷阶地, 自北向南相间排列。海拔 800~4 600 m, 年平均气温 5.8 ℃, 年均降水量 388 mm, 属典型温带大陆性气候。

**1.2 资料来源** 选取 1965—2018 年新疆喀什河流域尼勒克国家气象站逐日降水资料。季节划分为春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、冬季(12 月—次年 2 月)。研究资料来自新疆维吾尔自治区气象信息中心, 资料真实可靠。

## 1.3 研究方法

**1.3.1 倾向率分析。** 使用一元一次线性方程对研究区降水量进行变化趋势分析, 计算方法如下:

$$x_i = a + bt_i \quad (1)$$

式中,  $a$  为回归常数,  $b$  为回归系数。用线性回归系数  $b$  分析

**基金项目** 新疆“天山青年计划”优秀科技人才培养项目(2018Q026); 国家自然科学基金项目(41761004)。

**作者简介** 吴丽萍(1996—), 女, 甘肃酒泉人, 硕士研究生, 研究方向: 气候变化及环境演变。\* 通信作者, 副教授, 博士, 硕士生导师, 从事气候变化及环境响应方面的研究。

**收稿日期** 2021-08-24

降水线性变化趋势,气候倾向率为正值,表示降水资源随时间呈增加趋势,反之呈减少趋势。

**1.3.2 Mann-Kendall 趋势检验。**采用 Mann-Kendal 趋势检验分析降水变化特点及其规律,公式如下:

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

式中,  $x_i$  和  $x_j$  为连续的数据值,  $n$  为数据集合的长度,  $\text{sgn}$  是符号函数,其定义如下:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & (\theta > 0) \\ 0 & (\theta = 0) \\ -1 & (\theta < 0) \end{cases} \quad (3)$$

式(2)中统计量  $s$  的理论均值大致服从正态分布,其均值为 0,方差如下:

$$E(s) = 0$$

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n [t_i(i-1)(2i+5)]}{18} \quad (4)$$

其中,  $t_i$  是第  $i$  组数据点的数目。

对于样本数大于 10 的集合,标准化统计量  $Z_c$  按照以下公式计算:

$$Z_c = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & (s > 0) \\ 0 & (s = 0) \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & (s < 0) \end{cases} \quad (5)$$

**1.3.3 突变检验法。**采用 Mann-Kendall (简称 M-K) 法<sup>[14-16]</sup>对降水要素进行突变分析。以气温和降水量的时间序列  $x_i$  为基础,构造秩序列:

$$D_k = \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^n d_{ij} \quad (2 \leq k \leq n) \quad (6)$$

$$d_{ij} = \begin{cases} 1 & X_i > X_j \\ 0 & X_i \leq X_j \end{cases} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, i) \quad (7)$$

假设时间序列是独立随机的,定义统计变量:

$$\text{UF}_k = \frac{D_k - E(D_k)}{\sqrt{\text{Var}(D_k)}} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (8)$$

式中,  $E(D_k) = k(k-1)/4$ , 方差  $\text{Var}(D_k) = k(k-1)(2k+5)/72$ , 其中  $2 \leq k \leq n$ 。

将时间序列逆序  $x_i$  排列,同时满足:

$$\begin{cases} \text{UB}_k = -\text{UF}_k \\ k = n+1-k \end{cases} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (9)$$

$\text{UF}_k$  与  $\text{UB}_k$  的值分别为 2 条曲线,在显著水平  $\alpha = 0.05$  内,如果置信区间内存在交点,那么该交点为突变点。

**1.3.4 小波分析。**采用小波分析各因子的周期性变化,小波分析对原始数据要求低,其适用性较好<sup>[17-19]</sup>。以 Morlet 小波为母小波的变化,此小波形式为:

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 \eta} e^{-\frac{1}{2} \eta^2} \quad (10)$$

式中,  $\omega_0$  是无穷纲频率;  $i$  为虚部;  $t$  为时间。

基于小波基本形式由小波变化方程得到小波方差。小波系数实部图能反映不同时间尺度周期变化在时间上的分布;小波方差可以反映信号能量随着时间尺度分布的情况,

从而得到信号中不同尺度变化的强弱和主周期<sup>[15,18-19]</sup>。

## 2 结果与分析

**2.1 喀什河流域降水量年变化** 从图 1 可以看出,1965—2018 年喀什河流域年降水量呈波动增长趋势,多年降水量平均值为 393.0 mm,其中最小降水量为 228.4 mm,最大降水量为 699.2 mm,其线性变化率为 24.14 mm/10 a,增湿趋势显著。

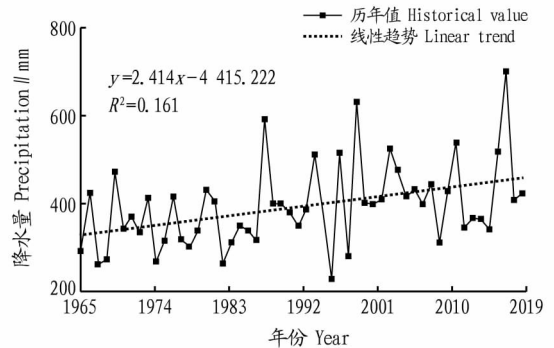


图 1 1965—2018 年喀什河流域年降水量变化

Fig.1 Variation of annual precipitation in the Kashi River Basin from 1965 to 2018

## 2.2 喀什河流域降水量季变化

**2.2.1 春季。**从图 2a 可以看出,1965—2018 年喀什河流域春季降水量平均为 114.2 mm,整体以 7.72 mm/10 a 的速度增加;2016 年降水量为历年最高值,达到 203.7 mm;1995 年降水量为历年最低值,仅有 47.2 mm,极差达 156.5 mm。近 54 年春季降水量波动较大,总体呈波动上升趋势。

**2.2.2 夏季。**从图 2b 可以看出,1965—2018 年喀什河流域夏季降水量平均为 146.0 mm,整体以 7.57 mm/10 a 的速度不断增加;夏季最大降水量出现在 1998 年,为 301.2 mm;最小降水量出现在 1968 年,为 52.9 mm,两者相差 248.3 mm。近 54 年夏季降水量呈波动上升趋势,上升不明显。

**2.2.3 秋季。**从图 2c 可以看出,1965—2018 年喀什河流域秋季降水量平均为 80.8 mm,整体以 3.76 mm/10 a 的速度不断增加;秋季最大降水量出现在 1987 年,为 179.7 mm;最小降水量出现在 1997 年,为 30.8 mm,两者相差 148.9 mm。秋季降水量呈波动上升趋势,增长趋势不明显。

**2.2.4 冬季。**从图 2d 可以看出,1965—2018 年喀什河流域冬季降水量平均为 52.1 mm,整体以 5.11 mm/10 a 的速度不断增加;冬季最大降水量出现在 2010 年,为 127.7 mm;最小降水量出现在 1968 年,为 9.5 mm,二者相差 118.2 mm。近 54 年冬季降水量呈波动上升趋势,增长趋势非常显著。

**2.3 喀什河流域降水量年代际变化** 由表 1 可知,1965—2018 年喀什河流域降水量年际变化 20 世纪 90 年代比 80 年代增加 8.6%,90 年代降水增加最显著。春季降水量 2001—2010 年增加速率最快,比 20 世纪 90 年代增加 22.9%;夏季降水量 20 世纪 80 年代增加最显著,比 70 年代增加 15.5%;秋季降水量 2001—2010 年增加速率最快,比 20 世纪 90 年代降水量增加 16.0%。冬季降水量 20 世纪 90 年代增加最显著,比 80 年代增加 23.2%。由此可知,近 54 年降水量年际变化

除在 2010 年后呈减小趋势外,其余均呈增加趋势,其中冬季

降水量对年际降水量增加贡献最大。

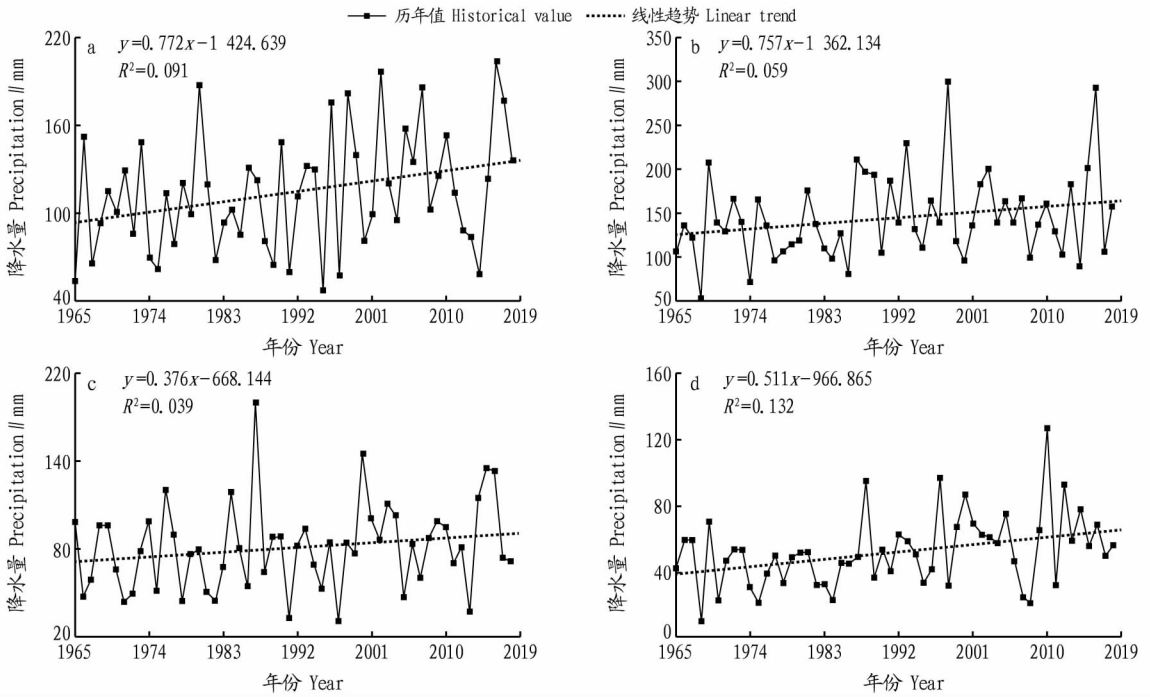


图 2 1965—2018 年喀什河流域春季(a)、夏季(b)、秋季(c)和冬季(d)降水量变化

Fig.2 Variation of precipitation in Kashi River Basin in spring(a), summer(b), autumn(c) and winter(d) from 1965 to 2018

表 1 1965—2018 年喀什河流域降水量年代际变化

Table 1 Interdecadal variation of precipitation in the Kashi River Basin from 1965 to 2018

时段 Period	全年 Whole year		春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumn		冬季 Winter	
	降水量 Precipitation mm	与上一年代 增减率 Rate of increase/ decrease with the previous year//%	降水量 Precipitation mm	与上一年代 增减率 Rate of increase/ decrease with the previous year//%	降水量 Precipitation mm	与上一年代 增减率 Rate of increase/ decrease with the previous year//%	降水量 Precipitation mm	与上一年代 增减率 Rate of increase/ decrease with the previous year//%	降水量 Precipitation mm	与上一年代 增减率 Rate of increase/ decrease with the previous year//%
1965—1970	343.9		96.7		127.9		76.9		43.7	
1971—1980	350.2	1.8	109.5	13.2	125.0	-2.3	73.1	-4.9	42.4	-3.0
1981—1990	375.2	7.1	101.7	-7.1	144.4	15.5	83.5	14.2	46.1	8.7
1991—2000	407.3	8.6	111.7	9.8	162.2	12.3	75.0	-10.2	56.8	23.2
2001—2010	437.1	7.3	137.3	22.9	153.2	5.5	87.0	16.0	60.8	7.0
2011—2018	432.5	-1.0	123.1	-10.3	158.6	3.5	89.4	2.8	61.3	0.8

2.4 喀什河流域降水量月变化 从 1965—2018 年喀什河流域各月降水量变化趋势和平均值(表 2)可以看出,近 54 年喀什河流域各月降水量平均值为 32.8 mm,9 月份呈减少趋势,其变化趋势为-0.49 mm/a,其余各月均呈增加趋势,其中 1、2 月份降水量增加趋势显著,其变化趋势分别为 2.05、2.32 mm/a,并通过了  $\alpha=0.05$  显著性检验。可见,1、2 月份降水量对喀什河流域冬季降水量增加贡献最大。

2.5 喀什河流域年降水量突变分析 利用 M-K 法对 1965—2018 年喀什河流域降水量进行突变分析。由图 3 可知,近 54 年喀什河流域 UF 曲线总体呈上升趋势,其中 1966—1969 年呈下降趋势,与 UB 相交于 1986、1988、1990 年,突变检验 UF 统计曲线通过显著性置信水平线 ( $U_{0.05} = 1.96$ ),即 1986、1988、1990 年是喀什河流域降水量明显增多

的突变年。

表 2 1965—2018 年喀什河流域各月降水量变化趋势和平均值

Table 2 Variation trend and average value of monthly precipitation in the Kashi River Basin from 1965 to 2018

月份 Month	变化趋势 Variation trend//mm/a	平均值 Mean value//mm
1	2.05	15.5
2	2.32	15.3
3	1.41	23.5
4	1.89	39.9
5	1.50	50.8
6	0.93	58.3
7	0.81	53.0
8	1.40	34.8
9	-0.49	22.3
10	1.37	28.6
11	1.23	29.8
12	1.03	21.2

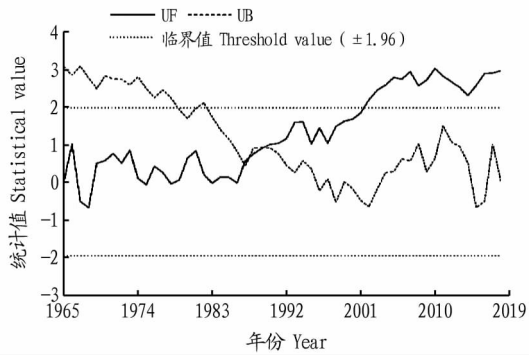


图3 1965—2018年喀什河流域年降水量 Mann-Kendall 突变检验  
Fig.3 Mann-Kendall mutation test of annual precipitation in Kashi River Basin from 1965 to 2018

## 2.6 喀什河流域季降水量突变分析

**2.6.1 春季。**从图 4a 可以看出,近 54 年喀什河流域春季降水量 UF 曲线呈先下降后显著上升的趋势。其中 1965—1972 年呈上升趋势,1973—1997 年呈下降趋势,1997 年后呈显著上升趋势,与 UB 曲线相交于 1993、1994、1995、1997 年附近,突变检验 UF 统计曲线通过显著性置信水平线 ( $U_{0.05} = 1.96$ ),即 1993、1994、1995、1997 年是喀什河流域春季降水增多突

变年。

**2.6.2 夏季。**从图 4b 可以看出,近 54 年喀什河流域夏季降水量 UF 曲线 1965—1967 年呈显著下降趋势,1968—1973 年呈显著上升趋势,1974—1987 年呈下降趋势,1987 年以后呈上升趋势,UF 曲线与 UB 曲线相交于 1971、1973、1981、1983、1985、1987 年,但 UF 曲线与置信水平线未相交,并未通过显著性检验,所以喀什河流域夏季降水未发生显著性突变。

**2.6.3 秋季。**从图 4c 可以看出,近 54 年喀什河流域秋季降水量 UF 曲线在 1965—1990 年呈波动上升趋势,1991—1997 年呈下降趋势,1997 年以后上升趋势显著,UF 曲线与 UB 曲线相交于 1995、1997 年,1997 年 UF 曲线由下降向上升转变,UF 曲线未与置信线相交,即并未通过显著性检验,所以喀什河流域秋季降水也未发生显著性突变。

**2.6.4 冬季。**从图 4d 可以看出,近 54 年喀什河流域冬季降水量 UF 曲线总体呈上升趋势,其中 1965—1985 年呈波动下降趋势,1985 年以后呈显著上升趋势,UF 曲线与 UB 曲线相交于 1993 年,突变检验 UF 统计曲线通过显著性置信水平线 ( $U_{0.05} = 1.96$ ),即喀什河流域冬季降水突变年是 1993 年。

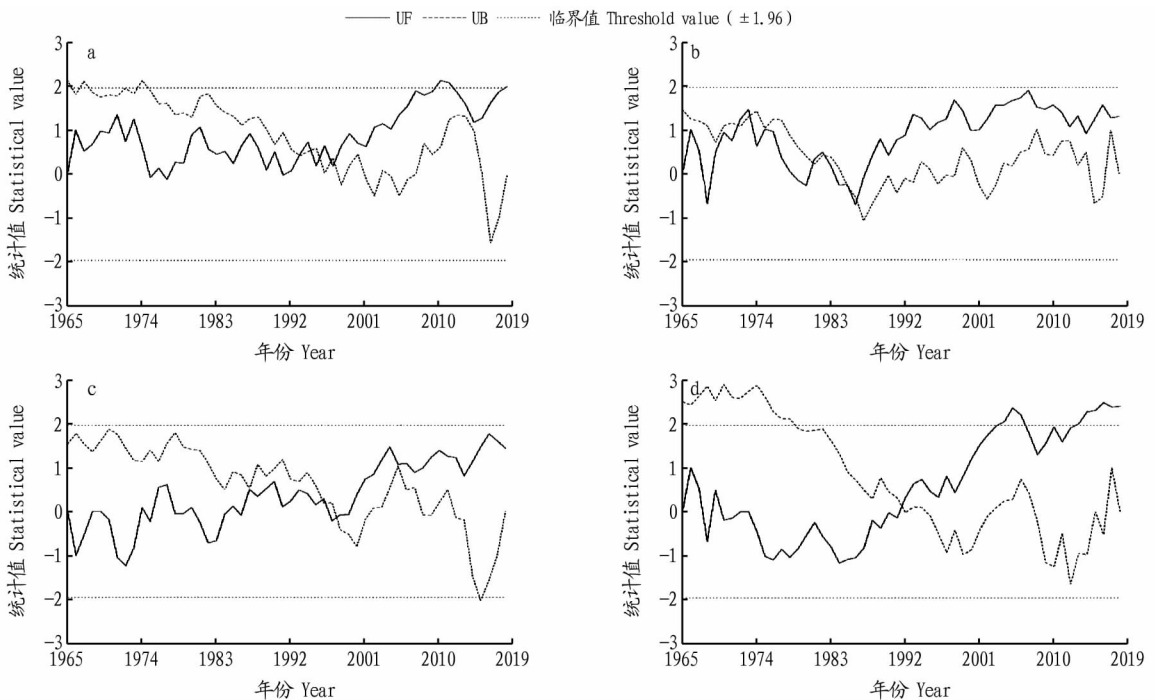


图4 1965—2018年喀什河流域春季(a)、夏季(b)、秋季(c)和冬季(d)降水量 Mann-Kendall 突变检验

Fig.4 Mann-Kendall mutation test of precipitation in spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d) in Kashi River Basin from 1965 to 2018

**2.7 喀什河流域降水量周期性分析** 从 1965—2018 年喀什河流域年降水量 Morlet 小波实部(图 5)可以看出,近 54 年喀什河流域年降水量呈交替变化趋势,在 6、15 年这 2 个时间尺度上呈周期性变化,6 年尺度的周期变化主要在 1995—2018 年;15 年尺度的周期变化主要体现在 2000—2015 年。

从 1965—2018 年喀什河流域年降水量变化的小波方差(图 6)可以看出,近 54 年喀什河流域年降水量主要存在 2 个主周期,第一主周期为 15 年,第二主周期为 6 年。

## 3 讨论

近 54 年新疆伊犁喀什河流域降水增加明显,并通过了显著性水平检验 ( $\alpha = 0.05$ ),可见该流域增湿情况明显,这与喀什河流域所处的地理位置有很大关系,喀什河流域处于我国西北地区西风带入风口,盛行西风携带大量水汽,所以该地降水较为丰富<sup>[20]</sup>。

喀什河流域降水主要集中在夏季,夏季降水量约占年降水量的 50%,各季降水也呈波动上升趋势,除夏、秋两季,春

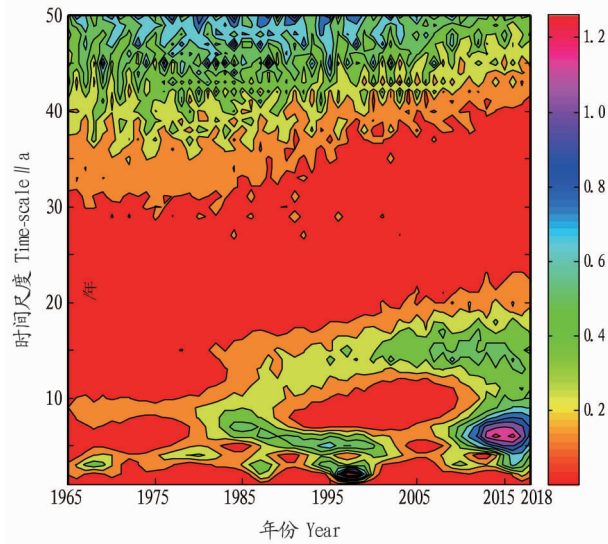


图5 1965—2018年喀什河流域年降水量 Morlet 小波实部

Fig.5 Morlet wavelet real part of annual precipitation in Kashi River Basin from 1965 to 2018

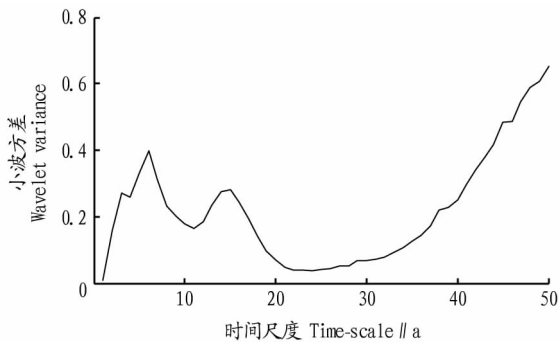


图6 1965—2018年喀什河流域年降水量小波方差

Fig.6 Wavelet variance of annual precipitation in Kashi River Basin from 1965 to 2018

季、冬季降水量增加明显,并通过了显著性检验,增湿主要集中在春季、冬季,这与苏朝丞等<sup>[21]</sup>的研究结论一致。

新疆降水时空分布的独特性对新疆生态环境与水资源分配具有显著的影响<sup>[22]</sup>。近几十年来,新疆气温升高、降水增多的现象使气候呈现出“暖湿化”特征<sup>[23-24]</sup>。喀什河流域降水呈现增加趋势,变化趋势与新疆全区同步<sup>[25-27]</sup>,这主要是因为北大西洋冰岛低压以及亚速尔高压的增强,使得亚欧大陆北部西风急流异常显著,从而导致区域内降水偏多,气温偏高<sup>[28]</sup>。喀什河流域年降水量在1986、1988、1990年发生突变,1990年以后降水量呈增加趋势,并通过显著性水平检验( $\alpha=0.05$ ),这与喀什河流域年降水量增长趋势基本一致。喀什河流域冬季降水量增加显著可能与新疆北部冬季的持续性降水增加有关<sup>[29]</sup>。

#### 4 结论

(1) 1965—2018年喀什河流域年降水量、四季降水量均呈波动上升趋势,其中年降水量以24.14 mm/10 a的速率在不断增加,年代际降水量在20世纪90年代增加最显著。

(2) 近54年喀什河流域年降水突变时间点为1986、1988、1990年,春季降水突变年份为1993、1994、1995、1997年,冬季降

水突变年份为1993年,夏秋两季未发生显著性突变。

(3) 近54年喀什河流域年降水量主要存在15年、6年2种周期性变化,其中15年为第一主周期,6年为第二主周期。

(4) 近54年喀什河流域四季降水量均呈增加趋势,冬季降水量增加最显著,冬季降水量对年际降水量增加贡献最大,冬季降水中1、2月份降水显著,1、2月份降水量对冬季降水量增加贡献最大。

#### 参考文献

- [1] 赵明玉,武胜利,任耀军,等.近58a新疆巴州极端气温事件变化特征[J].干旱区地理,2020,43(3):612-622.
- [2] 王艳姣,闫峰.1960—2010年中国降水区域分异及年代际变化特征[J].地理科学进展,2014,33(10):1354-1363.
- [3] 刘洪兰,张强,胡文超,等.1961—2011年西北地区春季降水变化特征及其空间分异性[J].冰川冻土,2013,35(4):857-864.
- [4] 陈发虎,黄伟,靳立亚,等.全球变暖背景下中亚干旱区降水变化特征及其空间差异[J].中国科学:地球科学,2011,41(11):1647-1657.
- [5] 陈春艳,赵克明,阿不力米提江·阿布力克木,等.暖湿背景下新疆逐时降水变化特征研究[J].干旱区地理,2015,38(4):692-702.
- [6] 热孜宛古丽·麦麦提依明,杨建军,刘永强,等.新疆近54年气温和降水变化特征[J].水土保持研究,2016,23(2):128-132.
- [7] 庄晓翠,杨森,赵正波.新疆阿勒泰地区降水变化特征分析[J].干旱区研究,2012,29(3):487-494.
- [8] 任国玉,袁玉江,柳艳菊,等.我国西北干燥区降水变化规律[J].干旱区研究,2016,33(1):1-19.
- [9] 姚俊强,杨青,刘志辉,等.中国西北干旱区降水时空分布特征[J].生态学报,2015,35(17):5846-5855.
- [10] 韩雪云,杨青,姚俊强.新疆天山山区近51年来降水变化特征[J].水土保持研究,2013,20(2):139-144.
- [11] 刘蒙蒙,隆永兰.巴音布鲁克近58a气候变化特征分析[J].干旱区地理,2019,42(4):715-723.
- [12] 杨昕馨.浅析新疆伊犁河流域50余年降水时空分布[J].水资源开发与管理,2018,16(6):65-68.
- [13] CHEN Y N, XU C C, HAO X M, et al. Fifty-year climate change and its effect on annual runoff in the Tarim River Basin, China[J]. Quaternary international, 2009, 208(1/2): 53-61.
- [14] 王文艳,张丽萍,吴东平,等.近19年干旱半干旱过渡区气温降水变化特征分析[J].环境科学与技术,2012,35(S1):57-61.
- [15] 李小雨,敖天其,黎小东,古兰县近50年来降水序列趋势分析[J].水土保持研究,2016,23(6):140-144.
- [16] 周雪英,段均泽,李晓川,等.1960—2011年巴音布鲁克山区降水变化趋势与突变特征[J].沙漠与绿洲气象,2013,7(5):19-24.
- [17] 杨东,刘洪敏,郭盼盼,等.1956~2008辽宁省近53年的降水量变化[J].干旱区资源与环境,2011,25(1):96-101.
- [18] 尹鹏.哈尔滨市水资源发展态势及可持续利用评价研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2011.
- [19] 王素慧,贾绍凤,吕爱峰.基于小波的三江源年径流变化的周期性分析及趋势预测[J].首都师范大学学报(自然科学版),2010,31(5):51-57.
- [20] SHI Y F, SHEN Y P, KANG E S, et al. Recent and future climate change in northwestern China[J]. Climatic change, 2007, 80(3/4): 379-393.
- [21] 苏朝丞,谢颖颖.1988—2017年乌鲁木齐市降水变化特征分析[J].现代农业科技,2018(16):188,191.
- [22] 李雪梅,姜逢清,李兰海,等.塔里木河河源及干流区域降水变化趋势与多尺度特征对比[J].冰川冻土,2010,32(2):285-294.
- [23] 张家宝.气候的可预报性及其在新疆的初步研究成果简介[J].新疆气象,2001(4):3-6.
- [24] 普宗朝,张山清,王胜兰,等.近36年天山山区潜在蒸散量变化特征及其与南、北疆的比较[J].干旱区研究,2009,26(3):424-432.
- [25] 陈亚宁,徐长春,郝兴明,等.新疆塔里木河流域近50a气候变化及其对径流的影响[J].冰川冻土,2008,30(6):921-929.
- [26] 苏宏超,沈永平,韩萍,等.新疆降水特征及其对水资源和生态环境的影响[J].冰川冻土,2007,29(3):343-350.
- [27] 胡汝骥,姜逢清,王亚俊,等.新疆气候由暖干向暖湿转变的信号及影响[J].干旱区地理,2002,25(3):194-200.
- [28] 慈晖,张强,张江辉,等.1961—2010年新疆极端降水过程时空特征[J].地理研究,2014,33(10):1881-1891.
- [29] 袁玉江,魏文寿,穆桂金.天山山区近40年秋季气候变化特征与南、北疆比较[J].地理科学,2004,24(6):674-679.